Transport Canada Transports Canada

Canada

November 2001

Aircraft Anti-Icing Fluid Endurance, Holdover, and Failure Times Under Winter Precipitation Conditions

A Glossary of Terms

Transportation Development Centre

TP 13832

TP 13832

Aircraft Anti-Icing Fluid Endurance, Holdover, and Failure Times Under Winter Precipitation Conditions

A Glossary of Terms

by

Barry B. Myers
Transportation Development Centre
Transport Canada

November 2001

Transportation Development Centre
800 René Lévesque Blvd. West
Suite 600
Montreal, Quebec H3B 1X9

Telephone (514) 283-0000
Facsimile (514) 283-7158
E-mail tdccdt@tc.gc.ca
Web site http://www.tc.gc.ca/tdc/index.htm

Transport Canada / Transports Canada

PUBLICATION DATA FORM

1. Transport Canada Publication No.	2. Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 13832	—	

4. Title and Subtitle	5. Publication Date
Aircraft Anti-icing Fluid Endurance, Holdover, and Failure Times Under Winter Precipitation Conditions: A Glossary of Terms	November 2001
	6. Performing Organization Document No. —
7. Author(s) Barry B. Myers	8. Transport Canada File No. ZCD2450-B-14
9. Performing Organization Name and Address: Transportation Development Centre (TDC), 800 René Lévesque Blvd. West, Suite 600, Montreal, Quebec, H3B 1X9	10. PWGSC File No. —
	11. PWGSC or Transport Canada Contract No. —
12. Sponsoring Agency Name and Address: Transportation Development Centre (TDC), 800 René Lévesque Blvd. West, Suite 600, Montreal, Quebec, H3B 1X9	13. Type of Publication and Period Covered: Final
	14. Project Officer: Barry B. Myers

15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.)

16. Abstract

The effectiveness of anti-icing fluid in protecting aircraft surfaces from the hazardous effects of contamination by frost, snow, or freezing precipitation is a complex and poorly understood topic. Over the years much terminology has been used without firm definitions, leading to many misconceptions. The same terms have been used to describe features of fluid testing on flat plates and fluid functioning on an aircraft surface, when there may be major differences in their significance. This document is intended to help resolve this situation and provide some clarity by defining terms that describe the hazards of winter precipitation, by proposing firmer and distinct meanings for some terms, and by identifying those that are simply variations on others. Descriptions using a variety of terms are also given for the tests used to evaluate anti-icing fluids, the means of using fluids, and the methods of estimating when the fluids cease to protect the aircraft. It is hoped that this glossary will provide the basis for a common set of definitions.

17. Key Words	18. Distribution Statement
Anti-icing, deicing, endurance, holdover, fluid failure	Limited number of copies available from the Transportation Development Centre

19. Security Classification (of this publication)	20. Security Classification (of this page)	21. Declassification (date)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	—	vi, 13	Shipping/ Handling

Canada

PREFACE

The effectiveness of anti-icing fluid in protecting aircraft surfaces from the hazardous effects of contamination by frost, snow, or freezing precipitation is a complex and poorly understood topic. Over the years much terminology has been used without firm definitions, leading to many misconceptions. The same terms have been used to describe features of fluid testing on flat plates and fluid functioning on an aircraft surface, when there may be major differences in their significance. This document is intended to help resolve this situation and provide some clarity by defining terms that describe the hazards of winter precipitation, by proposing firmer and distinct meanings for some terms, and by identifying those that are simply variations on others. Descriptions using a variety of terms are also given for the tests used to evaluate anti-icing fluids, the means of using fluids, and the methods of estimating when the fluids cease to protect the aircraft. It is hoped that this glossary will provide the basis for a common set of definitions.

TABLE OF CONTENTS

1 FLUIDS 1

1.1 Acceptable fluid 1
1.2 Pristine fluid 1
1.3 Operational limit of fluid 1

2 FAILURES 2

2.1 Fluid failure 2
2.2 Visual failure 2
2.3 Adhesion/Adherence failure 2
2.4 Failure adhesion 2
2.5 Fluid adhesion 2
2.6 Failure front 3
2.7 Top edge failure 3
2.8 Failed fluid 3
2.9 First failure/First icing event 3
2.10 Standard plate failure 3
2.11 Plate failure 3
2.12 Complete/Total/Full/Entire plate failure 4
2.13 Fifth cross hair failure 4

3 PLATES AND RATES 5

3.1 Standard test plate 5
3.2 Frosticator plate 5
3.3 Nucleation site 5
3.4 Precipitation rate 5
3.5 Peak precipitation rates 6
3.6 5/10/20/40 minute average precipitation rates 6

4 TIMES 7

4.1 Protection time 7
4.2 Endurance time 7
4.3 Holdover time 7
4.4 Holdover time guidelines 7

5 DE/ANTI-ICING AND CONTAMINANTS 8

5.1 Deicing 8
5.2 Anti-icing 8

5.3 De/anti-icing 8
5.4 Defrosting 8
5.5 Ice 8
5.6 Slush 9
5.7 Snow 9
5.8 Visible contamination 9

6 CONTAMINATION EFFECTS 10

6.1 Wing contamination 10
6.2 Clear-ice hazard 10
6.3 Tailplanes and canard contamination 11
6.4 Fuselage contamination 11
6.5 Frost effects 11
6.6 Freezing fog effects 12
6.7 Aerodynamically quiet areas 12
6.8 Aerodynamically quiet cavities 12
6.9 Aerodynamically quiet surfaces 12
6.10 Cold-soaked wing 12

SNOW VISIBILITY VS SNOWFALL INTENSITY CHART 13

1 FLUIDS

1.1 Acceptable fluid

Anti-icing fluid that may be sporadically covered with frozen precipitation but is capable of absorbing more contamination because its overall surface has not met failure conditions.

1.2 Pristine fluid

Fluid that is entirely uncontaminated by frozen or liquid precipitation.

1.3 Operational limit of fluid

The operational limit is reached when the visual failure (2.2) covers one third of the exposed surface area of a test plate or of a critical aircraft surface (this is also equivalent to the limit of visual detection from inside an aircraft at night).

2 FAILURES

2.1 Fluid failure

Two major forms of failure are currently in use: visual failure and adhesion failure.

2.2 Visual failure

A layer of ice crystals is plainly visible at the surface and the layer is building up thickness as precipitation continues. Generally, in the case of Type II, III, and IV fluids, uncontaminated fluid is in contact with the supporting surface at this time and therefore the ice crystal layer is not in contact with that surface and is not adhering to it. The growth of crystals in the fluid is compounded by incoming precipitation, resulting in an increased accumulation of crystals on the surface and thus in a visibly contaminated surface. When this area is large enough to be seen by an observer, a visual failure is adjudged. Obviously, the distance of the observer from the surface will influence what can be seen. For a test technician observing a plate from inches away, visual failure is characterized as a loss of gloss or obscuration of the surface by ice (5.5) or slush (5.6) affecting one third of a standard test plate (3.1) surface. For an aircrew member viewing a wing through a window at night at a distance of several feet, only slush or bridging snow covering about one third of a critical area such as an aileron or a leading edge will be visible. Visual failure on test plates is the mode used to establish endurance times (4.2) and thus holdover times (4.3). (See also 2.10 Standard plate failure.)

2.3 Adhesion/Adherence failure

The failure of the fluid to perform as an anti-icing fluid. A layer of ice crystals builds up, the crystals come in contact with the surface below, and they are bonded to it.

2.4 Failure adhesion

The initial bonding of ice crystals in a fluid to the surface resulting from the diluted fluid freezing point rising above the surface temperature at a nucleation site (3.3) on the surface.

2.5 Fluid adhesion

Viscosity and surface tension forces, along with a possible matrix of ice crystals in the fluid layer, impede the fluid's movement under shear and represent the effective adhesion of the fluid to the surface, resisting its removal.

2.6 Failure front

Anti-icing fluid varies in thickness over a surface as a result of the unevenness of the application, gaps or recesses in the surface, and surface gradients. Generally, the thinner areas of fluid are diluted more rapidly, so that an ice crystal layer forms at these thin fluid locations and an icing front advances into the thicker areas with continuing precipitation.

2.7 Top edge failure

Similar to first failure (2.9), this refers to the initial failure of the fluid to prevent crystal growth at the top edge of a standard test plate (3.1) where the fluid is thinnest.

2.8 Failed fluid

Fluid that has reached and is well past the fluid failure (2.1) condition.

2.9 First failure/First icing event

At surface discontinuities, such as gaps, and at the edges of surfaces, the fluid is at its thinnest. The first ice crystals form at such locations, known as nucleation sites (3.3). Generally the areas of ice crystal coverage grow from these locations. Depending on the thoroughness of the de/anti-icing (5.3) process, first failure may occur very quickly; it is not a significant event in the history leading to fluid failure (2.1).

2.10 Standard plate failure

Failure is established as a visual failure of one third of the test surface based on the observation of conditions on full-scale aircraft. This usually occurs when the failure front (2.6) on the plate crosses the 15 cm (6 in.) line. However, in outside snow tests, because there is usually wind, the start point may be anywhere on the plate and the progression in any direction. Under these conditions, visual failure (2.2) may be estimated. Alternatively, when contamination is visible on 5 of the 15 cross hairs, the plate is determined to be one-third covered and therefore visually failed.

2.11 Plate failure

Usually the same as standard plate failure (2.10).

2.12 Complete/Total/Full/Entire plate failure

100 percent of the plate has reached a visual failure (2.2) condition.

2.13 Fifth cross hair failure

When the ice crystals that indicate visual failure (2.2) obliterate only four cross hairs on a standard test plate (3.1), the fluid is considered to be good. When the fifth cross hair is obscured, the fluid is considered to be visually failed. This represents a standard plate failure (2.10) mode.

3 PLATES AND RATES

3.1 Standard test plate

The standard test plate, for the purpose of this document, is restricted to the plate used in endurance time (4.2) testing. It is an aluminum alloy plate 50 cm (20 in.) long and 30 cm (12 in.) wide adopted by SAE for the evaluation and certification of de/anti-icing fluid performance. For testing it is mounted at 10° to the horizontal. Along the top and two sides a line is marked 2.5 cm (1 in.) from the edge; ice crystals commencing in these zones are ignored as outside the test area. The bottom edge is a special case because the fluid is held back and is excessively thick there. The test area of the test plate is about 75 percent of the total area. The plate is marked with horizontal lines parallel to the top edge at 7.5 cm (3 in.), 15 cm (6 in.), 22.5 cm (9 in.), 30 cm (12 in.), and 37.5 cm (15 in.). On each of these lines are marked three cross hairs, one in the middle of the line and the other two evenly spaced 7.5 cm (3 in.) each side of it for a total of 15 cross-hair sites.

3.2 Frosticator plate

The frosticator plate is a polished aluminum alloy plate comprising six panels of 30 cm (12 in.) by 10 cm (4 in.) separated by dividers 5 mm (0.2 in.) wide by 30 cm (12 in.) long by 5 mm (0.2 in.) high. The frosticator is mounted at 10° to the horizontal on a chiller unit that keeps it at a constant temperature during testing. The plate is marked with a line at 2.5 cm (1 in.) from the top edge for the purpose of establishing the water spray endurance test (WSET) failure condition; there is also a line at 15 cm (6 in.) for the anti-icing endurance test (AET); two other lines are marked at 10 cm (4 in.) and 20 cm (8 in.) from the top edge.

3.3 Nucleation site

The site at which an ice crystal is stimulated to form from supercooled water.

3.4 Precipitation rate (as used in holdover time tables)

The total rate of deposition of frozen and liquid water on a surface, including any effects of wind-induced deposition; it is really the "catch rate" for a wet surface and is equivalent to the rate of catch on a wet aircraft surface. This use of catch rate to replace precipitation rate allows the visibility definitions of light, moderate, and heavy snow (see Snow Visibility Chart) to be readily used, because visibility is also affected by wind speed.

3.5 Peak precipitation rates

Precipitation rates measured over a fixed period of time, usually by accumulating precipitation continuously and weighing at short intervals. The peak values are very sensitive to the length of the interval.

3.6 5/10/20/40 minute average precipitation rates

Continuously averaged rates taken during a storm at relatively long intervals for comparison with anticipated protection or holdover times (4.3) associated with SAE Types I, II, III, and IV fluids.

4 TIMES

4.1 Protection time

The period that an anti-icing treatment protects aerodynamically critical surfaces from the adhesion of contamination and the resulting roughness that could cause a premature stall or result in loss of control and prevent the crew from safely operating the aircraft.

4.2 Endurance time

The time from initial application of anti-icing fluid to a standard test plate (3.1) to the moment of the standard plate failure (2.10) for a specific test condition simulating a weather condition.

4.3 Holdover time

The time from initial application of anti-icing fluid onto an aircraft to the moment the fluid can no longer be guaranteed to provide protection at the anticipated takeoff time. These times must be at least five minutes less than the protection time (4.1), and may be substantially less.

4.4 Holdover time guidelines

Guidelines for holdover times (4.3) as a function of specific weather conditions established by the SAE G-12 holdover time committee and based on endurance time (4.2) test results.

5 DE/ANTI-ICING and CONTAMINANTS

5.1 Deicing

A general term for the removal of ice (5.5), snow (5.7), slush (5.6), or frost from an aircraft surface by mechanical means, by heat, or, when deicing fluid is used, by a combination of heat and hydraulic pressure. When contaminating frost, snow, or ice is bonded to the surface, that surface must be heated to above freezing to debond the contaminant.

With the possible exception of a light frost condition (see NOTE in 6.5 Frost effects), when a wing has been deiced it has been heated to at least 0°C to ensure that the draining fluid/ice mix does not refreeze to the surface.

5.2 Anti-icing

Application of a freezing point depressant to a surface either following deicing (5.1) or in anticipation of subsequent winter precipitation. The anti-icing fluid is intended to protect the surface from ice adhesion for a finite period of time. At any given ambient temperature, it is usually capable of absorbing freezing or frozen precipitation until it approaches the dilution at which it freezes at that temperature. In this condition, the contamination absorption rate slows and crystals begin to build up at the fluid-air interface.

5.3 De/Anti-icing

A one- or two-step process in which aircraft surfaces are cleaned of contamination and immediately protected by an anti-icing fluid. In the one-step procedure the same fluid is used to deice and anti-ice, whereas in the two-step procedure the anti-icing fluid is a different fluid or has a different fluid dilution.

5.4 Defrosting

The removal of frost from a surface and its subsequent protection. Frost deposition is generally a slow process and all fluids are very effective in protecting surfaces from frost formation. However, great care must be taken to remove all contaminated fluid and ensure that the remaining protective fluid is not contaminated.

5.5 Ice

The solid form of water. Ice is found in the atmosphere as ice crystals, snow (5.7), hail, ice pellets, and graupel (snow pellets), and on the surface in forms such as hoarfrost, rime, glaze, sea ice, glacier ice, ground ice, and frazil.

5.6 Slush

Snow (5.7) or ice (5.5) that has been reduced to a soft watery mixture by rain, heat, or chemical treatment. Slush is an accumulation of ice crystals in a fluid forming a non-rigid agglomeration.

5.7 Snow

Includes many forms and agglomerations of ice crystals, including needles, plates, columns, dendritic structures, and grains. It does not include the more solid forms of snow pellets, ice pellets, or hail.

5.8 Visible contamination

When anti-icing fluid has been applied to the wing, the fluid has a freezing point substantially below the ambient air temperature. Furthermore, there is a temperature gradient through the fluid from the hot wing skin to the cold ambient air. In a snowstorm, flakes hit the fluid surface and melt immediately, absorbing heat from the fluid. The fluid is thereby cooled at the air-surface interface, approaching the ambient temperature rapidly and being simultaneously diluted by the precipitation. The decreasing fluid temperature causes the snowflakes to melt and be absorbed more slowly and, as a result, the incoming snow (5.7) lands on partially melted flakes and a mat of slush (5.6) develops. This mat of slush is the visible contamination. It has partially melted snow on top, which acts as an insulator and further slows the melting process.

6 CONTAMINATION EFFECTS

6.1 Wing contamination

Aircraft are certified to fly in clean, dry air. In general, they are not certified to fly with any contamination on the lift and control surfaces. However, there are many possible contaminants, including frost, snow, ice, rain, squashed bugs, bird droppings, hydraulic oil, anti-icing fluids, and dirt*. The problem is that small amounts of surface contamination usually result in roughness. This causes local changes in the pressure gradient in the boundary layer and can cause turbulence in a laminar flow boundary layer or complete flow separation from the surface. The change to a turbulent boundary layer is a favourable condition because this turbulent layer is thicker and less sensitive to surface anomalies that can cause a laminar boundary layer to separate from the surface. Such a separation will cause either a negligible loss in lift at low angles of attack or a major lift loss at higher angles of attack, manifested as a premature stall. Even small lift losses may be hazardous if they reflect a reduction in the peak suction near the leading edge, because there can be a major associated change in pitch moment. On aircraft with dihedral, the wing tips are particularly susceptible to contamination because of the low thermal mass and the natural draining of anti-icing fluid. The lift loss in this area affects the roll control, particularly if the contamination is asymmetric and affects only one wing tip, a quite possible scenario following taxiing in a crosswind.

** Most of these contaminants do not cause problems if they do not adhere to the surface: at worst they may cause a slight loss in performance similar to that caused by anti-icing fluid as it is removed by the airflow during takeoff. Paint chipping, minor mechanical damage or repairs, and variations in aircraft due to manufacturing tolerances may be equally significant. However, large amounts of contamination will cause a complete change in the flow field around the airfoil, resulting in higher shear forces and, most likely, significant performance loss.*

6.2 Clear-ice hazard

Clear ice on aircraft surfaces is particularly difficult to detect. Such ice on a wing can be hazardous in two ways:

- If the ice results from rain or condensation on a cold soaked wing, it could be quite thick. When it is caused by very cold fuel it will be thickest at the wing root where it will subsequently break off and cause damage to the rear of the aircraft. This is particularly hazardous for aircraft with rear-mounted engines.

- Clear ice on the wing following deicing (5.1) and anti-icing (5.2), resulting from inadequate removal of melted and refrozen contaminants, will be relatively thin and smooth and may even improve the airflow. However, as it breaks up and comes off it may leave adhering pieces of ice that make steps on the wing and thereby radically disturb the airflow.

6.3 Tailplanes and canard contamination

Tailplanes have similar characteristics to hard wings but without the dampening thermal effects of the fuel in the tanks. However, they are not subject to large angles of attack because they are in the wing downwash and thus loss of lift is likely to be small for the types of icing that occur on the ground. On the other hand, canard controls are extremely susceptible and require special consideration in de/anti-icing (5.3). Their holdover times (4.3) may also be reduced.

6.4 Fuselage contamination

Contamination on the fuselage has little direct aerodynamic effect because the boundary layer is turbulent and relatively thick. Rear-mounted engines are set far enough from the fuselage to avoid the worst effects of the thick boundary layer. Thick layers of ice must always be removed from the fuselage prior to flight to avoid damage to engines and to the lifting and control surfaces when the ice does detach. Thin layers of ice (5.5) that will break up in the airstream and slush (5.6) at the fluid surface do not represent a hazard because they are removed by the airflow and follow the regular airstream patterns. The effects of these contaminants are no worse than those of heavy rain or ice pellets encountered in flight.

6.5 Frost effects

Natural frost at very low incidence levels can give rise to serious disruption of the boundary layer near the stagnation point. However, natural frost is a radiation phenomenon caused by a cold, clear night sky acting as a radiation sink. The stagnation point on a wing is on the underside and not exposed to frost. Furthermore, the ice crystals that provide the roughest surface are at the same time very delicate in structure and readily break up into a smoother form when subjected to shearing forces.

Frost can be caused by cold soaked fuel conducting the heat away from the leading edge and resulting in ice crystal nucleation close to the stagnation point. This would result in surface roughness in a critical area. Depending on temperature, the initial heat loss on the leading edge might cause condensation first and result in a runback freezing mode of ice formation that would not be as rough as the ice crystals.

NOTE: A light frosting can be absorbed by very small quantities of deicing fluid, which can mislead a ground crew into believing the surface is clean when the residual fluid is, in fact, heavily contaminated and close to its freezing point.

6.6 Freezing fog effects

Freezing fog deposits very little moisture or ice on surfaces because the wind speed in fog conditions is generally low. However, during taxiing manoeuvres the aircraft will pick up ice from the freezing fog through the airfoil's collection efficiency. Frozen fog comprises ice crystals and will not adhere to bare metal.

6.7 Aerodynamically quiet areas

There are two classes of aerodynamically quiet areas: aircraft cavities and aerodynamic surfaces with separated airflow.

6.8 Aerodynamically quiet cavities

All aircraft have cavities into which fluids may seep under gravity, but where drainage may be inadequate for a viscous fluid to seep out. If the cavity is not sufficiently scoured by the airflow during takeoff to effectively remove a fluid more viscous than water, it is called an aerodynamically quiet cavity.

6.9 Aerodynamically quiet surfaces

At takeoff, where trailing and possibly leading-edge devices are deployed to approximate the profile of a highly cambered airfoil (thereby substantially increasing the lifting capability of the wing at low speeds), the airflow may separate from the aerodynamic surface, forming a separation bubble (typically breakaway of laminar airflow followed by a turbulent airflow reattachment). As a result, a zone of very low-velocity airflow will exist at the surface; where any residual fluid will move very slowly or not at all.

6.10 Cold-soaked wing

Aircraft that spend several hours at high altitude and land with a large amount of fuel in the wing tanks (usually when tankering fuel) will have cold-soaked wings. The skin temperature of such wings will be substantially lower than the ambient temperature, causing protection times (4.1) to be shortened. Cold soaking is the reason that there are holdover times (4.3) for above-freezing conditions. All temperature ranges and weather conditions can be affected by this phenomenon, but the effect diminishes with lower outside air temperature.

SNOW VISIBILITY VS SNOWFALL INTENSITY CHART[1]

Lighting	Temperature Range		Visibility in statute miles		
	°C	°F	Heavy[2]	Moderate[2]	Light[2]
Daylight	Above -1	Above 30	<1	1 - 2	>2
	-1 to -7	30 to 19	<½	½ - 1¼	>1¼
	Below -7	Below 19	<⅜	⅜ - ⅝	>⅝
Darkness	Above -1	Above 30	<2	2 - 4	>4
	-1 to -7	30 to 19	<1	1 - 2½	>2½
	Below -7	Below 19	<¾	¾ - 1¼	>1¼

1 Rasmussen et al., "The Estimation of Snowfall Rate Using Visibility", *Journal of Applied Meteorology*, Vol 38, No 10, October 1999.

2 Heavy snowfall intensity is defined as greater than **2.5 mm/hr equivalent liquid water precipitation**, moderate snow as **1 mm/hr** to **2.5 mm/hr**, and light snow as less than **1 mm/hr**.

Transports Canada
Transport Canada

Canada

Novembre 2001

Durées d'efficacité, endurance et perte d'efficacité des liquides antigivre pour aéronefs dans des conditions de précipitations hivernales

Glossaire

Centre de développement des transports

TP 13832

TP 13832

Durées d'efficacité, endurance et perte d'efficacité des liquides antigivre pour aéronefs dans des conditions de précipitations hivernales

Glossaire

par

Barry B. Myers
Centre de développement des transports
Transports Canada

Novembre 2001

Centre de développement des transports
800, boul. René-Lévesque Ouest
Bureau 600
Montréal, Québec H3B 1X9

Téléphone	(514) 283-0000
Télécopieur	(514) 283-7158
Courriel	tdccdt@tc.gc.ca
Site Web du CDT	http://www.tc.gc.ca/tdc/index_f.htm

Transports Canada / Transport Canada

FORMULE DE DONNÉES POUR PUBLICATION

1. N° de la publication de Transports Canada	2. N° de l'étude	3. N° de catalogue du destinataire
TP 13832	—	

4. Titre et sous-titre

Durées d'efficacité, endurance et perte d'efficacité des liquides antigivre pour aéronefs dans des conditions de précipitations hivernales : Glossaire

5. Date de la publication

Novembre 2001

6. N° de document de l'organisme exécutant

—

7. Auteur(s)

Barry B. Myers

8. N° de dossier - Transports Canada

ZCD2450-B-14

9. Nom et adresse de l'organisme exécutant

Centre de développement des transports (CDT)
800, boul. René-Lévesque Ouest
Bureau 600
Montréal (Québec)
H3B 1X9

10. N° de dossier – TPSGC

—

11. N° de contrat – TPSGC ou Transports Canada

—

12. Nom et adresse de l'organisme parrain

Centre de développement des transports (CDT)
800, boul. René-Lévesque Ouest
Bureau 600
Montréal (Québec)
H3B 1X9

13. Genre de publication et période visée

Final

14. Agent de projet

Barry B. Myers

15. Remarques additionnelles (programmes de financement, titres de publications connexes, etc.)

16. Résumé

L'efficacité d'un liquide antigivre à protéger les surfaces d'un avion des dangereux effets de la contamination par le givre, la neige ou les précipitations verglaçantes est un sujet complexe et mal compris. Depuis des années, une terminologie abondante mais imprécise s'est développée, qui a donné lieu à de nombreux malentendus. Ainsi, les mêmes termes ont été utilisés pour décrire les essais de liquides sur plaques planes et le comportement des liquides sur les surfaces d'un avion, malgré des écarts de signification parfois importants. Le présent glossaire a pour but de mieux circonscrire ce champ sémantique, en définissant les termes qui servent à décrire les dangers associés aux précipitations hivernales, en proposant un sens plus précis et distinctif pour certains termes, et en relevant les termes synonymes. On y trouvera également des termes se rapportant aux essais réalisés pour évaluer les liquides antigivre, les modes d'utilisation des liquides, et les méthodes qui permettent de déterminer le moment où le liquide cesse de protéger l'avion. Ce glossaire se veut le point de départ d'une uniformisation des définitions.

17. Mots clés	18. Diffusion
Antigivre, dégivrage, endurance, durée d'efficacité, perte d'efficacité du liquide	Le Centre de développement des transports dispose d'un nombre limité d'exemplaires.

19. Classification de sécurité (de cette publication)	20. Classification de sécurité (de cette page)	21. Déclassification (date)	22. Nombre de pages	23. Prix
Non classifiée	Non classifiée	—	vi, 13	Port et manutention

PRÉFACE

L'efficacité d'un liquide antigivre à protéger les surfaces d'un avion des dangereux effets de la contamination par le givre, la neige ou les précipitations verglaçantes est un sujet complexe et mal compris. Depuis des années, une terminologie abondante mais imprécise s'est développée, qui a donné lieu à de nombreux malentendus. Ainsi, les mêmes termes ont été utilisés pour décrire les essais de liquides sur plaques planes et le comportement des liquides sur les surfaces d'un avion, malgré des écarts de signification parfois importants. Le présent glossaire a pour but de mieux circonscrire ce champ sémantique, en définissant les termes qui servent à décrire les dangers associés aux précipitations hivernales, en proposant un sens plus précis et distinctif pour certains termes, et en relevant les termes synonymes. On y trouvera également des termes se rapportant aux essais réalisés pour évaluer les liquides antigivre, les modes d'utilisation des liquides, et les méthodes qui permettent de déterminer le moment où le liquide cesse de protéger l'avion. Ce glossaire se veut le point de départ d'une uniformisation des définitions.

TABLE DES MATIÈRES

1 LIQUIDES 1

1.1 Liquide acceptable 1
1.2 Liquide vierge 1
1.3 Limite d'utilisation du liquide 1

2 PERTE D'EFFICACITÉ 2

2.1 Perte d'efficacité du liquide 2
2.2 Signes visuels de perte d'efficacité 2
2.3 Perte d'efficacité par adhésion/Perte d'efficacité par adhérence 2
2.4 Adhérence après perte d'efficacité 2
2.5 Adhérence du liquide 3
2.6 Front de perte d'efficacité 3
2.7 Perte d'efficacité sur le bord supérieur 3
2.8 Liquide contaminé 3
2.9 Amorce de la perte d'efficacité/Amorce du givrage 3
2.10 Perte d'efficacité sur plaque standard 3
2.11 Perte d'efficacité sur plaque 4
2.12 Perte d'efficacité sur la plaque complète, sur toute la plaque, sur la plaque totale, sur la plaque entière 4
2.13 Perte d'efficacité sur un cinquième point de quadrillage 4

3 PLAQUES ET TAUX 5

3.1 Plaque d'essai standard 5
3.2 Plaque à générateur d'humidité 5
3.3 Site de nucléation 5
3.4 Taux de précipitation 5
3.5 Taux de précipitation de crête 6
3.6 Taux de précipitation moyens sur 5, 10, 20, 35 et 40 minutes 6

4 DURÉES 7

4.1 Durée de protection 7
4.2 Endurance 7
4.3 Durée d'efficacité 7
4.4 Tables de durées d'efficacité 7

5 DÉGIVRAGE/ANTIGIVRAGE ET CONTAMINANTS 8

5.1 Dégivrage (sens large) 8
5.2 Antigivrage 8
5.3 Dégivrage/antigivrage 8
5.4 Dégivrage (sens strict) 8
5.5 Glace 9
5.6 Bouillie glacio-neigeuse 9
5.7 Neige 9
5.8 Contamination visible 9

6 EFFETS DE LA CONTAMINATION 10

6.1 Contamination des ailes 10
6.2 Dangers du verglas 10
6.3 Contamination des empennages horizontaux et des gouvernes canards 11
6.4 Contamination du fuselage 11
6.5 Effets du givre 11
6.6 Effets du brouillard verglaçant 12
6.7 Zones à inertie aérodynamique 12
6.8 Cavités à inertie aérodynamique 12
6.9 Surfaces aérodynamiquement inertes 12
6.10 Aile sur-refroidie 13

TABLEAU DE VISIBILITÉ DANS LA NEIGE EN FONCTION DE L'INTENSITÉ DES PRÉCIPITATIONS 13

1 LIQUIDES

1.1 Liquide acceptable

Liquide antigivre recouvert ici et là de précipitation glacée, mais qui peut encore absorber des contaminants parce qu'il n'a pas perdu son efficacité sur l'ensemble de la surface.

1.2 Liquide vierge

Liquide non contaminé par une précipitation glacée ou liquide.

1.3 Limite d'utilisation du liquide

Le liquide a atteint sa limite d'utilisation lorsque des signes visuels de perte d'efficacité (2.2) sont présents sur un tiers de la superficie exposée d'une plaque d'essai ou d'une surface critique d'avion (aussi, limite de détection visuelle de la perte d'efficacité depuis l'intérieur d'un avion dans l'obscurité).

2 PERTE D'EFFICACITÉ

2.1 Perte d'efficacité du liquide

Deux méthodes sont principalement utilisées pour établir la perte d'efficacité du liquide : les signes visuels et l'adhérence des précipitations.

2.2 Signes visuels de perte d'efficacité

Une couche de cristaux de glace est nettement visible à la surface du liquide et cette couche épaissit au fur et à mesure de la précipitation. Règle générale, dans le cas des liquides de types II, III, et IV, c'est le liquide non contaminé et non la couche de cristaux de glace qui est en contact avec la surface sous-jacente : il n'y a donc pas adhérence. Outre la croissance des cristaux dans le liquide, l'apport de précipitations favorise l'accumulation de cristaux de glace, au point où ils finissent par former une zone visiblement contaminée. Lorsque la zone contaminée est suffisamment étendue pour être perçue par un observateur, la perte d'efficacité est constatée visuellement. Évidemment, la distance qui sépare l'observateur de la surface influe sur ce qu'il peut voir. Ainsi, un technicien d'essai qui observe une plaque à quelques pouces de distance reconnaît la perte d'efficacité à une altération du brillant ou à un obscurcissement dû à de la glace (5.5) ou de la bouillie glacio-neigeuse (5.6) sur un tiers de la surface d'une plaque d'essai standard (3.1). Mais pour un membre d'équipage qui, le soir, observe l'aile à travers la fenêtre de la cabine de pilotage, soit d'une distance de plusieurs pieds, seule est visible la présence de bouillie glacio-neigeuse ou de neige faisant le pont sur un tiers d'une surface critique, comme un aileron ou un bord d'attaque. L'observation visuelle sur des plaques d'essai est le mode utilisé pour établir l'endurance (4.2) des liquides et donc leur durée d'efficacité (4.3). (Voir aussi 2.10, perte d'efficacité sur plaque standard.)

2.3 Perte d'efficacité par adhésion/Perte d'efficacité par adhérence

Le liquide n'arrive plus à se comporter comme un liquide antigivre. Une couche de cristaux de glace se forme, ceux-ci entrent en contact avec la surface sous-jacente et ils y demeurent collés.

2.4 Adhérence après perte d'efficacité

Début d'adhérence à la surface sous-jacente des cristaux de glace contenus dans un liquide, attribuable à l'élévation du point de congélation du liquide dilué au-dessus de la température de la surface à un site de nucléation (3.3).

2.5 Adhérence du liquide

La viscosité et la tension superficielle de la couche de liquide et la présence possible dans celle-ci d'une trame de cristaux de glace empêchent le liquide de s'écouler lorsque soumis au cisaillement et expliquent l'adhérence du liquide à la surface, ou sa résistance à l'enlèvement.

2.6 Front de perte d'efficacité

L'épaisseur du liquide antigivre n'est jamais uniforme sur une surface, en raison du taux d'application inégal, des vides ou des creux dans la surface, et de l'inclinaison de celle-ci. Généralement, c'est dans les zones où il est le moins épais que le liquide se dilue le plus rapidement, et que la couche de cristaux de glace commence à se former, produisant un front de congélation qui avance, au fur et à mesure des précipitations, vers les zones recouvertes d'une couche plus épaisse.

2.7 Perte d'efficacité sur le bord supérieur

Synonyme de amorce de la perte d'efficacité (2.9), il s'agit du début de l'incapacité du liquide à empêcher la croissance de cristaux sur le bord supérieur d'une plaque d'essai standard (3.1), là où le liquide est le plus mince.

2.8 Liquide contaminé

Liquide qui a atteint et largement dépassé l'état de perte d'efficacité du liquide (2.1).

2.9 Amorce de la perte d'efficacité/Amorce du givrage

C'est près des discontinuités et des bords de la surface que la couche de liquide est la moins épaisse. C'est à ces endroits, appelés sites de nucléation (3.3), que se forment les premiers cristaux de glace. En général, c'est à partir de là que se propagent les cristaux. Selon le soin apporté à l'application du liquide de dégivrage/antigivrage (5.3), la perte d'efficacité peut s'amorcer très rapidement; mais ce moment n'a pas beaucoup d'importance dans la progression vers la perte d'efficacité du liquide (2.1).

2.10 Perte d'efficacité sur plaque standard

La perte d'efficacité est établie lorsque les signes visuels de la perte d'efficacité sont constatés sur un tiers de la surface d'essai, d'après l'observation des conditions sur un avion réel. Cela se produit habituellement lorsque le front de perte d'efficacité (2.6) sur la plaque franchit la ligne de 15 cm (6 po). Toutefois, lors d'essais extérieurs sous précipitations neigeuses, sans doute en raison du vent, l'amorce de la perte d'efficacité peut se produire n'importe où sur la plaque, et progresser dans n'importe quelle direction. Il est alors possible de conclure à la perte d'efficacité du liquide par

l'observation des signes visuels de perte d'efficacité (2.2). Ou encore, lorsque la contamination est visible sur 5 des 15 points de quadrillage, on peut conclure que la plaque est au tiers contaminée, et que le liquide est devenu inefficace.

2.11 Perte d'efficacité sur plaque

Habituellement synonyme de perte d'efficacité sur plaque standard (2.10).

2.12 Perte d'efficacité sur la plaque complète, sur toute la plaque, sur la plaque totale, sur la plaque entière

La totalité de la plaque a atteint l'état où la perte d'efficacité peut être établie à partir des signes visuels de perte d'efficacité (2.2).

2.13 Perte d'efficacité sur un cinquième point de quadrillage

Lorsque les cristaux de glace à l'origine des signes visuels de perte d'efficacité (2.2) ne recouvrent que quatre points de quadrillage d'une plaque d'essai standard (3.1), le liquide est considéré comme efficace. Lorsqu'un cinquième point est obscurci, le liquide est considéré présenter les signes visuels de perte d'efficacité. Il s'agit de la façon d'établir la perte d'efficacité sur plaque standard (2.10).

3 PLAQUES ET TAUX

3.1 Plaque d'essai standard

Dans ce document, «plaque d'essai standard» désigne la plaque utilisée pour les essais d'endurance (4.2). Il s'agit d'une plaque en alliage d'aluminium de 50 cm (20 po) de longueur et 30 cm (12 po) de largeur, adoptée par la SAE pour l'évaluation et l'homologation du rendement des liquides de dégivrage/antigivre. Pour les essais, elle est montée selon un angle de 10° par rapport à l'horizontale. Des lignes sont tracées à 2,5 cm (1 po) du bord supérieur et des bords latéraux; les cristaux de glace qui se forment à l'extérieur de ces lignes ne sont pas pris en compte. Le bord inférieur est spécialement configuré de façon à retenir le liquide, qui y forme une couche très épaisse. Environ 75 p. cent de la superficie totale de la plaque est considérée comme zone d'essai. La plaque est marquée de lignes transversales parallèles au bord supérieur, à 7,5 cm (3 po), 15 cm (6 po), 22,5 cm (9 po), 30 cm (12 po) et 37,5 cm (15 po) de celui-ci. Chacune de ces lignes est coupée par trois lignes longitudinales, une au milieu et les deux autres à 7,5 cm (3 po) de chaque côté, pour un total de 15 points de quadrillage.

3.2 Plaque à générateur d'humidité

La plaque à générateur d'humidité («frosticator») est une plaque en alliage d'aluminium poli constituée de six panneaux de 30 cm (12 po) sur 10 cm (4 po) séparés par des diviseurs de 5 mm (0,2 po) de largeur, 30 cm (12 po) de longueur et 5 mm (0,2 po) de hauteur. La plaque est montée selon une inclinaison de 10° par rapport à l'horizontale sur un refroidisseur qui maintient celle-ci à une température constante pendant l'essai. Une ligne est tracée à 2,5 cm (1 po) du bord supérieur de la plaque aux fins des essais de durée d'efficacité sous pulvérisation (WSET, pour *water spray endurance time*); on trouve aussi une ligne à 15 cm (6 po) du bord pour l'essai d'endurance antigivre (AET, pour *anti-icing endurance test*); deux autres lignes sont tracées à 10 cm (4 po) et à 20 cm (8 po) du bord supérieur.

3.3 Site de nucléation

Endroit où l'eau sur-refroidie se transforme en cristaux de glace.

3.4 Taux de précipitation (au sens des tables de durées d'efficacité)

Taux total d'accumulation d'eau solide et liquide sur une surface, y compris toute accumulation résultant du vent; il s'agit, de fait, du «taux de captation» sur une surface mouillée et il est égal au taux de captation sur la surface mouillée d'un avion. Cette utilisation de «taux de captation» plutôt que de «taux de précipitation» facilite l'utilisation des définitions relatives à la visibilité (faible, modérée et forte) (voir le tableau de visibilité dans la neige), car la visibilité dépend aussi de la vitesse du vent.

3.5 Taux de précipitation de crête

Taux de précipitation mesurés pendant une période déterminée, habituellement en accumulant la précipitation et en la pesant à courts intervalles. Les valeurs de crête sont très sensibles à la longueur de l'intervalle de mesure.

3.6 Taux de précipitation moyens sur 5, 10, 20, 35 et 40 minutes

Calcul continu de la moyenne des taux de précipitation relevés selon des intervalles relativement longs pendant une tempête, aux fins de comparaison avec les durées d'efficacité (4.3) ou de protection théoriques des liquides de types I, II, III, et IV de la SAE.

4 DURÉES

4.1 Durée de protection

L'intervalle durant lequel un traitement antigivrage protège les surfaces aérodynamiquement inertes de l'adhésion des contaminants et de la rugosité en émanant, et qui pourraient entraîner un décollage prématuré ou se traduire par une perte de maîtrise de l'avion qui ferait en sorte que l'équipage ne serait plus en sécurité aux commandes de celui-ci.

4.2 Endurance

Délai entre le début de l'application d'un liquide antigivre sur une plaque d'essai standard (3.1) et le moment où est constatée la perte d'efficacité sur plaque standard (2.10) lors d'un essai simulant des conditions météorologiques déterminées.

4.3 Durée d'efficacité

Délai entre le début de l'application d'un liquide antigivre sur un avion et le moment où le liquide ne peut plus être considéré comme pouvant garantir une protection jusqu'au moment prévu du décollage. Ces délais doivent être au moins plus courts de cinq minutes par rapport à la durée de protection (4.1) et même considérablement plus courts.

4.4 Tables de durées d'efficacité

Lignes directrices concernant les durées d'efficacité (4.3) des liquides en fonction de conditions météorologiques précises, établies par le comité G-12 de la SAE sur les durées d'efficacité et fondées sur les résultats d'essais d'endurance (4.2).

5 DÉGIVRAGE/ANTIGIVRAGE ET CONTAMINANTS

5.1 Dégivrage (sens large)

Terme général désignant l'enlèvement de glace (5.5), de neige (5.7), de bouillie glacio-neigeuse (5.6) ou de givre sur la surface d'un avion, par des moyens mécaniques, la chaleur ou, dans le cas d'un liquide de dégivrage, une combinaison de chaleur et de pression hydraulique. Lorsque le givre, la neige ou la glace colle à la surface, il faut amener la température de celle-ci au-dessus du point de congélation pour chasser la contamination.

À l'exception, peut-être, d'un état de givrage léger (voir NOTA en 6.5, effets du givre), lorsqu'une aile a été dégivrée, sa température a été portée à au moins 0 °C, de façon à empêcher le mélange liquide/glace de geler de nouveau sur la surface.

5.2 Antigivrage

Application sur une surface d'un produit abaisseur du point de congélation, soit après le dégivrage (sens large) (5.1) de celle-ci, soit en prévision de la chute de précipitations hivernales. Le liquide antigivre empêche le givre d'adhérer à la surface de l'avion pendant une période déterminée. À une température ambiante donnée, il absorbe les précipitations givrantes ou gelées jusqu'au moment où il atteint un degré de dilution tel que le mélange gèle à ladite température. Il s'ensuit un ralentissement du taux d'absorption des contaminants et une accumulation des cristaux de glace à la surface du liquide.

5.3 Dégivrage/antigivrage

Opération en une ou deux phases au cours de laquelle les surfaces d'un avion sont débarrassées de leur contamination puis immédiatement protégées par un liquide antigivre. Dans la méthode à une seule phase, le même liquide sert au dégivrage et à la protection antigivre, tandis que dans la méthode à deux phases, le liquide antigivre est différent du liquide de dégivrage ou présente un taux de dilution différent.

5.4 Dégivrage (sens strict)

Enlèvement du givre d'une surface et protection de celle-ci contre le givrage. Le dépôt de givre est un processus généralement lent et tous les liquides de dégivrage sont très efficaces à protéger les surfaces contre la formation de givre. Il faut toutefois prendre bien soin d'enlever tout le liquide contaminé et de s'assurer que le liquide de protection qui demeure sur la surface n'est pas contaminé.

5.5 Glace

Forme solide de l'eau. La glace se présente dans l'atmosphère sous forme de cristaux de glace, de neige (5.7), de grêle, de grésil et de neige roulée, et à la surface de la Terre sous forme de givre, de givre blanc, de verglas, de glace marine, de glace de glacier, de glace de sol et de frasil.

5.6 Bouillie glacio-neigeuse

Neige (5.7) ou glace (5.5) qui est transformée en boue par suite de chute de pluie, de chaudes températures ou de l'addition de produits chimiques. La bouillie glacio-neigeuse est une accumulation de cristaux de glace dans un liquide formant une masse visqueuse.

5.7 Neige

Se présente sous de nombreuses formes et agglomérations de cristaux de glace : aiguilles, platelets, colonnes, structures dendritiques et grains. Ne comprend pas les formes solides que sont la neige roulée, le grésil et la grêle.

5.8 Contamination visible

Lorsqu'un liquide antigivre est appliqué sur l'aile, ce liquide a un point de congélation substantiellement inférieur à la température de l'air ambiant. De plus, il existe un gradient de température dans le liquide, entre le revêtement chaud de l'aile et l'air ambiant froid. Lors d'une tempête de neige, les flocons frappent la surface du liquide et fondent immédiatement, en absorbant la chaleur du liquide. Il en résulte donc un refroidissement du liquide à son interface avec l'air : sa température s'abaisse rapidement jusqu'à celle de l'air ambiant, à mesure qu'il est dilué par l'apport de précipitations. L'abaissement de la température du liquide ralentit la fonte et l'absorption des flocons de neige, ce qui fait que la nouvelle neige (5.7) se dépose sur des flocons partiellement fondus, d'où la formation d'une couche de bouillie glacio-neigeuse (5.6). Cette couche de bouillie glacio-neigeuse constitue la contamination visible. Elle est constituée, en surface, de neige partiellement fondue, qui agit comme un isolant et ralentit encore le processus de fusion.

6 EFFETS DE LA CONTAMINATION

6.1 Contamination des ailes

Les avions sont certifiés pour voler dans un air propre et sec. En général, ils ne sont pas censés voler en présence de contamination sur la voilure et les gouvernes. Mais il existe de nombreux contaminants potentiels, comme le givre, la neige, la glace, la pluie, les insectes écrasés, les fientes d'oiseaux, l'huile hydraulique, les liquides antigivre et la saleté*. Le problème est que d'infimes quantités de contaminants rendent la surface rugueuse. Or, cette rugosité modifie localement le gradient de pression de la couche limite, ce qui peut la rendre turbulente ou la faire décoller de la surface. Une couche limite turbulente est une bonne chose car elle est plus épaisse et moins sensible aux défauts de surface susceptibles de causer le décollement d'une couche limite laminaire. Un tel décollement entraîne une diminution de la portance négligeable lorsque l'angle d'attaque est faible, ou importante, lorsque l'angle d'attaque est prononcé, l'avion risquant alors un décrochage prématuré. Même une infime diminution de la portance peut être dangereuse si elle s'accompagne d'une diminution de l'aspiration à proximité du bord d'attaque, parce que cela peut signifier une modification sensible du moment de tangage. Les avions dont les ailes forment un dièdre sont particulièrement vulnérables à la contamination, en raison de la position basse de la masse thermique et de l'écoulement naturel du liquide antigivre. La diminution de la portance dans cette zone influe sur la commande en roulis, en particulier si la contamination est asymétrique et si elle touche le bout d'une seule aile, ce qui est vraisemblable après une circulation au sol par vent traversier.

** La plupart de ces contaminants ne posent pas de problème s'ils ne collent pas à la surface : au pire, ils entraînent une légère diminution des performances, du même ordre que celle qui est causée par un liquide antigivre qui est chassé de l'aile pendant le décollage. Des éclats de peinture, des dommages ou réparations mécaniques mineurs et les différences entre avions dues aux tolérances de fabrication peuvent également avoir une influence sur les performances. Mais de grandes quantités de contaminants transforment radicalement le domaine d'écoulement autour de l'aile, entraînant une augmentation des forces de cisaillement et, le plus souvent, une baisse marquée des performances.*

6.2 Dangers du verglas

La présence de verglas sur les surfaces d'un avion est particulièrement difficile à détecter. Or, ce type de contamination représente deux dangers :

- Si la glace résulte d'une chute de pluie ou de la condensation sur une aile surrefroidie, elle peut être assez épaisse. Si elle a été causée par du carburant très froid, son épaisseur est plus grande à l'emplanture de l'aile : elle risque, en se brisant, d'endommager l'arrière de l'avion. Naturellement, ce danger menace particulièrement les avions dont les moteurs sont montés à l'arrière.

- Le verglas présent sur l'aile après le dégivrage (sens large) (5.1) et l'antigivrage (5.2), et qui résulte d'un enlèvement inadéquat des contaminants fondus et gelés de nouveau, est relativement mince et lisse et peut même favoriser l'écoulement de l'air. Toutefois, lorsqu'il se brise et se détache de l'aile, il se peut que des plaques restent collées sur l'aile, ce qui risque de fortement perturber l'écoulement de l'air.

6.3 Contamination des empennages horizontaux et des gouvernes canards

Les empennages horizontaux présentent des caractéristiques semblables à celles des ailes, mais ils ne bénéficient pas des effets thermiques modérateurs de la présence de carburant dans les réservoirs. En même temps, il ne sont pas sujets à des angles d'attaque prononcés parce que situés en déflexion vers le bas par rapport aux ailes : la diminution de portance est habituellement faible pour les types de givrage qui se produisent au sol. Par contre, les gouvernes canards sont extrêmement vulnérables et exigent une attention particulière lors des opérations de dégivrage/antigivrage (5.3). La durée d'efficacité (4.3) des liquides sur ces gouvernes peut également être moindre que la durée théorique.

6.4 Contamination du fuselage

La présence de contamination sur le fuselage a peu d'effet direct sur le comportement aérodynamique de l'avion, car la couche limite y est turbulente et relativement épaisse. Les moteurs montés à l'arrière sont suffisamment éloignés du fuselage pour prévenir les pires effets de cette couche limite épaisse. Il importe de toujours enlever avant le vol les couches de glace épaisses, afin de prévenir les dommages aux moteurs ainsi qu'à la voilure et aux gouvernes lors du décollement de la glace. De minces couches de glace (5.5), qui seront emportées dans l'écoulement d'air, et de la bouillie glacio-neigeuse (5.6) à la surface du liquide, ne présentent pas de danger parce qu'elles seront chassées par l'écoulement de l'air et qu'elles se fondront dans l'écoulement. Les effets de ces contaminants ne sont pas plus à craindre que ceux de la forte pluie ou du grésil en vol.

6.5 Effets du givre

Le givre naturel, même en très faible quantité, peut gravement perturber la couche limite à proximité du point d'arrêt. Le givre naturel résulte d'un refroidissement par rayonnement nocturne de la surface terrestre, habituellement par ciel clair et vent léger ou calme. Dans le cas d'une aile, le point d'arrêt est situé sur la face inférieure et n'est donc pas exposé au givre. De plus, les cristaux de glace qui produisent la surface la plus rugueuse ont en même temps une structure très délicate et se rompent facilement, devenant moins rugueux lorsqu'ils sont soumis aux forces de cisaillement.

Le givre peut être causé par du carburant sur-refroidi qui abaisse la température du bord d'attaque, ce qui entraîne la nucléation de cristaux de glace près du point d'arrêt. Il

s'ensuit une rugosité de la surface dans une zone critique. Selon la température, le début de refroidissement du bord d'attaque peut engendrer d'abord de la condensation puis une glace de ruissellement qui n'est pas aussi rugueuse que les cristaux de glace.

NOTA : De très petites quantités de liquide de dégivrage peuvent absorber une mince couche de givre, ce qui peut amener une équipe au sol à croire que la surface est propre pendant qu'en réalité, le liquide résiduel est très contaminé et près de son point de congélation.

6.6 Effets du brouillard verglaçant

Le brouillard verglaçant, ou frimas, dépose une couche très mince d'humidité ou de glace sur les surfaces, parce que le vent est habituellement léger lorsque le temps est brumeux. Toutefois, pendant la circulation au sol, des particules de glace se déposent sur la voilure. Le brouillard verglaçant est constitué de cristaux de glace et il n'adhère pas au métal nu.

6.7 Zones à inertie aérodynamique

Il existe deux catégories de zones à inertie aérodynamique : les cavités dans la surface de l'avion et les surfaces aérodynamiques à flux d'air séparés.

6.8 Cavités à inertie aérodynamique

Tous les avions présentent des cavités dans leur surface, dans lesquelles les liquides peuvent s'introduire sous l'effet de la gravité, mais d'où un liquide visqueux ne peut pas toujours facilement s'extraire. Si l'écoulement d'air pendant le décollage ne réussit pas à chasser de ces cavités un liquide plus visqueux que l'eau, ces zones sont qualifiées d'aérodynamiquement inertes.

6.9 Surfaces aérodynamiquement inertes

Au décollage, le fait de déployer les volets avant et arrière de l'aile pour approximer un profil de voilure fortement cambré (et augmenter ainsi considérablement la portance de l'aile à basse vitesse) risque d'entraîner le décollement du flux d'air de la surface aérodynamique et la formation d'un bulbe de séparation (soit un décollement du flux laminaire suivi du recollement d'un flux turbulent). Cela produit, sur la surface, une zone où l'air s'écoule très lentement et où tout liquide résiduel se déplacera très lentement ou pas du tout.

6.10 Aile sur-refroidie

Lorsqu'un avion a passé plusieurs heures à haute altitude et qu'il atterrit avec des réservoirs alaires contenant une grande quantité de carburant (habituellement, il transporte ce carburant), ses ailes sont dites sur-refroidies. La température du revêtement des ailes est alors sensiblement inférieure à la température ambiante, ce qui raccourcit les durées de protection (4.1). Le sur-refroidissement est la raison pour laquelle il existe des tables de durées d'efficacité (4.3) pour des températures supérieures au point de congélation. Le phénomène du sur-refroidissement peut avoir des effets sur toutes les plages de températures et conditions météorologiques, mais plus la température de l'air extérieur est faible, moins ces effets sont marqués.

TABLEAU DE VISIBILITÉ DANS LA NEIGE EN FONCTION DE L'INTENSITÉ DES PRÉCIPITATIONS[1]

Éclairage	Plage de températures		Visibilité en milles terrestres		
	°C	°F	Précipitation forte[2]	Précipitation modérée[2]	Précipitation légère[2]
Lumière du jour	au-dessus de -1	au-dessus de 30	< 1	1 - 2	> 2
	-1 à -7	30 à 19	< ½	½ – 1¼	> 1¼
	sous -7	sous 19	< ⅜	⅜ – ⅝	> ⅝
Obscurité	au-dessus de -1	au-dessus de 30	< 2	2 – 4	> 4
	-1 à -7	30 à 19	< 1	1 – 2½	> 2½
	sous -7	sous 19	< ¾	¾ – 1¼	> 1¼

[1] Rasmussen et al., "The Estimation of Snowfall Rate Using Visibility", *Journal of Applied Meteorology*, Vol 38, No 10, October 1999.

[2] Une chute de neige est dite forte si l'accumulation est supérieure à **2,5 mm/h (en eau liquide)**, modérée si l'accumulation est comprise entre **1 mm/h** et **2,5 mm/h** et légère si l'accumulation est inférieure à **1 mm/h**.